بررسی چگونگی تأثیر جداره‌ها در کاهش مصرف انرژی در بافت مسکونی- سنتی کاشان، نمونه‌موردی: خانه بروجردی‌ها

غلامحسین معماریان* - سید مهدی مداحی** - سجاد آئینی*** - علی عبدالهی****

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۲۶
تاریخ پذیرش نهایی: ۹۳/۰۳/۲۳

چکیده

در کشور ما مناطق اقلیمی و شرایط آب و هوایی در فصول سال بسیار متنوع می‌باشد. در این راستا معمار سنتی راه‌حل‌هایی منطقی را برای فراهم نمودن شرایط آسایش انسان ابداع نموده است. یکی از جلوه‌های معماری پایدار، معماری سنتی ایران است که به موارد زیست‌محیطی و کارایی انرژی، هم به‌لحاظ پایین بودن قیمت اولیه و هم قیمت جاری و کارکردی بنا، پاسخگو بوده است. معمار سنتی با انتخاب درست تناسبات و جهت‌گیری‌ها سعی در حرکت به سمت معماری پایدار داشته و علی‌رغم تمامی دشواری‌های تکنولوژیک، درک درستی را از مفاهیم اقلیمی خود دارا بوده است. در این مقاله تلاش شده تا ویژگی توجه به اقلیم از لحاظ نگاه به مسأله انرژی در شهر کاشان و در عملکردی مانند خانه، که بیشترین استفاده را در میان عملکردهای معماری دارد، بررسی شود. از این‌رو در این جستار، برای بررسی تأثیر عمق سایه‌اندازها بر کیفیت فضایی، میزان نور و انرژی دریافتی فضاها، یکی از اتاق‌های پنج‌دری موجود در خانه بروجردی‌ها به‌صورت انتخابی در نرم‌افزار سه‌بعدی Google Sketchup مدل‌سازی شده و سپس توسط نرم‌افزار اقلیمی Ecotect مورد تحلیل قرار گرفته است. برای بالاتر بردن دقت مطالعات، تحلیل‌ها در دو روز انقلابین تابستانی و زمستانی که بیشترین میزان اختلاف در وضعیت خورشید را دارند صورت گرفت و برای اینکه میزان عمر مفید خورشید و نور روز در فضاها به درستی اندازه‌گیری شود، در هر روز در سه ساعت (۹ صبح، ۱۲ ظهر و ۱۵ بعدازظهر) بررسی انجام شد. این گونه به‌نظر می‌رسد که تناسبات سایه‌اندازها نقش مهمی در میزان دریافت انرژی خورشیدی در خانه‌های ایرانی و تأمین آسایش حرارتی در آن‌ها داشته است که برای مطالعه و وارد کردن آن به فرآیند طراحی امروز از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد.

واژگان کلیدی: خانه بروجردی‌ها، نور، آسایش حرارتی، پایداری انرژی.

* استاد معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.
** استادیار معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، موسسه آموزش عالی خاوران، مشهد، ایران (نویسنده مسئول).
Email: m.madahi@profs.khi.ac.ir
*** دانشجوی کارشناسی ارشد معماری اسلامی، دانشکده هنر و معماری اسلامی، دانشگاه بین المللی امام رضا (ع)، مشهد، ایران.
**** دانشجوی کارشناسی ارشد معماری اسلامی، دانشکده هنر و معماری اسلامی، دانشگاه بین المللی امام رضا (ع)، مشهد، ایران.

مقدمه

اهمیت روزافزون سوخت‌های فسیلی در سده اخیر و کمبود منابع تجدیدناپذیر بر روی زمین، باعث شده تا زندگی بشر در دهه‌های اخیر به سوی روش‌های پاک‌تر که با آلایندگی حداقلی انرژی‌ها از منابع تجدیدناپذیر همراه است، حرکت کند. در جغرافیای فلات ایران، مردمان این منطقه، ملاحظات اقلیمی خاصی را در ابنیه خود لحاظ می‌کردند. تنوع آن‌ها تابعی از شرایط و ویژگی‌های موجود در هر اقلیم بوده و این جریانی ریشه‌دار در معماری سنتی ایران به سمت معماری پایدار است. این روش‌ها در شهرهای حاشیه کویر مانند یزد و کاشان، به‌علت تابش شدید نور آفتاب در روز و سرمای بیش از حد شب، بادهای نامطلوب که غالباً با غبار همراه هستند، باعث شکل‌گیری این روش‌ها به‌صورت ویژه‌ای شده است که از ایده‌های حیاط مرکزی برای کم کردن سطوح و کاهش پرت حرارت، افزایش ضخامت جداره‌ها برای بالا بردن اینرسی حرارتی و غیره که در تمام آن‌ها ملاحظات اقلیمی دخیل است را به‌کار می‌گرفتند. اما یکی از این روش‌ها برای کنترل تابش و ایجاد آسایش حرارتی در فضاها، افزایش عمقی است که بازشوها در آن‌ها قرار می‌گیرند که با توجه به عملکرد فضا و نیاز متفاوت آن‌ها به روشنایی و انرژی، میزان دریافت نور روز را در فضاها کنترل می‌کردند.

عنصر نور در معماری و طراحی نقش به‌سزایی داشته و همچنین خلق کیفیت‌های فضایی را بر عهده دارد. به صورتی که امروزه نگرشی خاص را به این سمت در معماری جهان شاهد هستیم (Ansari et al., 2011, pp. 46-57). نمونه تحقیقات در این زمینه در سال‌های اخیر را می‌توان با اشاره به بررسی‌های دکتر کریستوف رینهارت، در زمینه نور روز، کیفیات نور و تأثیرپذیری رفتار کاربران پی‌گرفت. پژوهش‌های مبتنی بر آزمایش شرایط مختلف با رویکرد ایجاد سامانه تحلیلی در جهت شبیه‌سازی فضاها (رینهارت، جاکوبیک)[۱] و همچنین مطالعه روی نحوه توزیع نور به تناسب حالات مختلف سایه‌بان در فصول متفاوت، اهمیت مسأله را به‌وضوح روشن نموده است.

همچنین نمونه دیگری از بررسی‌های انجام شده در این زمینه مطلبی است تحت عنوان "بررسی زاویه بازشدگی صفحات خورشیدی در راستای میزان دسترسی فضا به نور در بناهای کویری". این پژوهش نیز با درنظر گرفتن مصو به‌عنوان مکان مبنا، دسترسی به فضاهای نمونه به نور خورشید را با درنظر گرفتن بازشوهای زاویه‌دار افقی و عمودی تحلیل نموده است (Sherif et al., 2012, pp. 3353-3363).

۱. روش تحقیق و جمع‌آوری اطلاعات

در روند پژوهش حاضر نقش کیفی و کمی عملکرد خانه بروجردی‌ها بر اساس نور مورد بررسی قرار می‌گیرد. در مرحله شناخت خانه بروجردی‌ها از روش تحقیق کیفی استفاده می‌شود. بدین صورت که ابتدا با گردآوری اطلاعات از منابع کتابخانه‌ای و نیز برداشت‌های میدانی از خانه بروجردی‌ها، به تکمیل دانش پایه در مورد معماری و مسکن، همچنین شناخت بیشتر از خانه بروجردی‌ها پرداخته می‌شود. در ادامه برای مدل‌سازی‌ها و تحلیل‌ها بر اساس داده‌های مرحله شناخت از طریق نرم‌افزارهای Ecotect analysis[۲] و Google sketchup[۳] استفاده شده است؛ بدین صورت که در قسمت مدل‌سازی از Google sketchup و در قسمت تحلیل داده‌ها و اطلاعات از نرم‌افزار Ecotect analysis استفاده می‌شود.

۲. پرسش‌های پژوهش

- جداره‌ها در معماری سنتی چگونه در کاهش مصرف انرژی از نظر درجه حرارت و نور روز تأثیر می‌گذارند؟
- جداره‌ها در معماری خانه بروجردی‌ها در کاشان چگونه در کاهش مصرف انرژی از جنبه درجه حرارت و نور روز تأثیر می‌گذارند؟

۳. تعریف مفاهیم و اصطلاحات

۱-۳- پایداری

۱-۱-۳- پایداری در لغت

فعل"sustain" از ریشه لاتین "sustinere" از دو جز "sus" به‌معنای از بالا به پایین و "tenere" به‌معنای نگه‌داشتن و حفظ کردن تشکیل شده و از سال ۱۹۲۰ میلادی در زبان انگلیسی به‌کار گرفته شده است[۴]. این فعل در توصیف شرایط، حالت و یا چیزی به‌کار می‌رود که با مفاهیمی از قبیل "حمایت، پشتیبانی و تداوم" آمیخته است و صفت "sustainable" که مورد پشتیبانی قرار گرفته یا به واسطه کمک یا تأمین معاش، همچنان تداوم یافته است.

دهخدا[۵] پایداری را به معنای بادوام و ماندنی آورده است. در فرهنگ سخن[۶] و فرهنگ فارسی معین[۷] نیز پایداری به مفهوم پایدار بودن و مقاومت از مصدر "پایش" به معنای پایداری کردن و از خود استقامت نشان دادن آمده است.

۲-۱-۳- اصول معماری پایدار

برخی بناها دارای ویژگی‌ها و خصوصیاتی هستند که آن‌ها را در زمره بناهای پایدار قرار می‌دهند، اصولی که باید رعایت شود تا یک بنا به‌عنوان یک معماری پایدار طبقه‌بندی شود، عبارتند از: حفظ انرژی، هماهنگی با اقلیم و برآوردن نیازهای ساکنان (در معماری پایدار برآورده شدن نیازهای روحی و جسمی ساکنان از اهمیت خاصی برخوردار است).

۳-۱-۳- اصول معماری ایران و پایداری

اصول معماری ایران که مرحوم پیرنیا از آن‌ها نام می‌برد، در جدول ۱ آورده شده و به بررسی تطبیقی بین اصول معماری و شهرسازی ایرانی با اصول و مبانی معماری پایدار پرداخته شده است (Pirnia, 2011, p. 37).

جدول ۱: بررسی تطبیقی اصول معماری و شهرسازی ایرانی- اسلامی با اصول و مبانی معماری و شهرسازی پایدار

اصول معماری و شهرسازی ایرانی	اصول و مبانی معماری و شهرسازی پایدار
مردم‌واری	بهبود کیفیت زندگی و آسایش جسمی و روحی انسان و عدالت اجتماعی و اقتصادی
پرهیز از بیهودگی	طراحی فضا بر اساس نیازها و استفاده از فضاهای چند عملکردی و انعطاف‌پذیری فضا برای جلوگیری از اتلاف فضا، منابع، مصالح و انرژی
خودبسندگی (بوم‌آورد)	تأمین نیازهای انسان بدون تصرف در منابع آیندگان با راه رویکرد بومی و محلی
درون‌گرایی	هماهنگی با طبیعت و استفاده از انرژی‌های آن، و کاهش مصرف منابع تجدیدناپذیر
نیارش و پیمون	استفاده از سیستم مدولار در طراحی و کاربرد سازه و مصالح پایدار و قابل بازیافت

۴-۱-۳- آسایش حرارتی

ارتباط عوامل آب‌وهوایی با آسایش طبق تعریف کسمایی علم مطالعه و ارزیابی تأثیرات هوا و اقلیم بر روی موجودات زنده اعم از گیاهی و جانوری را بیوکلیماتولوژی یا اقلیم‌شناسی حیاتی می‌نامند. منظور از شرایط آسایش حرارتی همان درجه حرارت و میزان رطوبت هواست که ۸۰ درصد مردم در آن احساس آسایش و راحتی کنند به‌صورتی که نه احساس گرما کنند نه احساس سرما. حالت خنثی بودن حرارتی تعبیر دیگر آن است (Kasmaei, 2002).

۵-۱-۳- فرم و انرژی

فرم یک ساختمان در میزان جذب انرژی خورشیدی بسیار مؤثر است. جهت‌گیری بنا، زاویه دیوارها و سقف نسبت به خورشید در فصول مختلف، بنا به عرض و طول جغرافیایی در استفاده بهینه از انرژی خورشیدی بسیار اهمیت دارد. در فصول سرد احتیاج به دریافت انرژی خورشیدی وجود دارد و زاویه خورشید در زمستان مایل‌تر است. بدین ترتیب سطوح عمودی در دریافت انرژی کارآیی بالاتری دارند و در تابستان برعکس؛ به‌علت عمودی‌تر بودن تابش، سقف ساختمان انرژی بیشتری دریافت می‌کند. با کم کردن مساحت سقف و بالا رفتن در طبقات، سطوح عمودی را افزایش داده و سطوح افقی را می‌توان کاهش داد تا از انرژی خورشیدی در تابستان و زمستان بیشترین استفاده حاصل شود (Ayali, 2009).
این مثال ساده از ساختمان‌های رایج بود، ولی با محاسبه دقیق زاویه تابش در فصول مختلف می‌توان زاویه مناسب سقف، بدنه، سایه‌بان و حتی فرم اصلی کار را مشخص کرد. همچنین فرم ساختمان، در ایجاد سایه قسمتی از فرم بر روی قسمت دیگر در فصول گرم بسیار با اهمیت است.

۶-۱-۳- سیستم‌های فعال و غیرفعال خورشیدی

با توجه به محدود بودن منابع فسیلی و آلودگی‌های ناشی از استفاده از این‌گونه منابع، جوامع اندیشمندان را بدان واداشته است که از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌جای منابع فسیلی استفاده کنند. در سامانه غیرفعال خورشیدی، ساختمان‌ها به گونه‌ای طراحی می‌شوند که نیازهای سرمایش، گرمایش و نوررسانی در آن‌ها به صورت طبیعی و همساز با اقلیم تأمین شود و به این دلیل سامانه غیرفعال نامیده می‌شوند که نیاز به فعالیت تجهیزات سرمایشی و گرمایشی به حداقل ممکن می‌رسد (Watson & Labs, 2008, p. 48).

۷-۱-۳- نور در معماری ایران

حضور اندیشیده شده نور در سراسر معماری قدیم ایران که از طریق انتخاب آگاهانه‌ای از اجزاء و ترکیب آن‌ها و نیز اثر برآیندی‌شان به تحقق رسیده است، ماده را به جسمی لطیف تبدیل می‌کند (Bemanian, 2002, pp. 1-10). نور با چگونگی حضور خود در معماری ایران، نقشی پردازشی ایفا می‌کند. این تأثیر، گاه به صورت معنایی و گاه کالبدی و پرداخت شرایط فیزیکی تأثیرگذار بوده است (Mahvash, 2014, pp. 12-13).

۴. خانه بروجردی‌ها

این خانه در محله سلطان امیراحمد کاشان در خیابان علوی واقع شده که توسط بازرگانی به نام حاج‌سیدحسن نطنزی (معروف به حاج آقا حسن بروجردی) مقارن با سال ۱۲۷۵ (ه.ق) در دوره قاجاریه ساخته شده است. نقاشی‌های ارزنده و گچبری‌های این خانه، زیر نظر کمال‌الملک، نقاش بزرگ ایران اجرا شده و معمار آن استاد علی مریم کاشانی بوده است. خانه بروجردی‌ها اکنون محل اداره میراث فرهنگی کاشان می‌باشد. این مجموعه تحت شماره ۱۰۸۳ در فهرست آثار ملی کشور ثبت شده است.

۱-۴- پایداری در معماری سنتی ایران

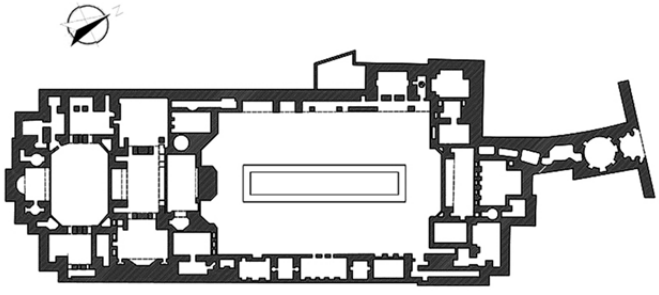
برای بررسی و ارائه تحلیلی صحیح از معماری پایدار در ایران در دو سطح کلان و خرد، باید آن را مطالعه کرد. در مقیاس کلان می‌توان به مواردی از جمله مکان‌یابی، استخوان‌بندی، فشردگی و پراکندگی بافت، نحوه استقرار خیابان‌ها و کوچه‌ها و نظم ارگانیک موجود در بافت اشاره نمود که مورد بحث این مقاله نیستند. اما شاخصه‌های مهمی در مقیاس خرد در معماری ایران قابل مشاهده می‌باشد. خانه بروجردی‌ها در شهر کاشان واقع شده است و شهر کاشان دارای اقلیم گرم‌وخشک می‌باشد.

۲-۴- جهت‌گیری

در طراحی، جهت قبله اهمیت به‌سزایی داشته، تا جایی که حتی در طراحی اقلیمی نیز نقش ایفا نموده است. فضاهای تابستانی و زمستانی در مقابل هم و با کیفیت نورگیری متفاوت سازماندهی می‌شدند.

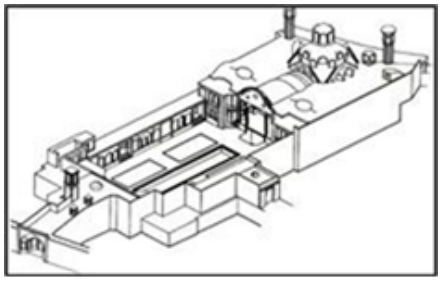
خانه بروجردی‌ها: این بنا از این قاعده مستثنی نبوده و به‌صورت شمالی- جنوبی و در جهت قبله قرار دارد (شکل ۱) و این مسأله موجب فراهم آوردن فضاهای تابستان‌نشین و زمستان‌نشین شده است. فضای تابستان‌نشین که در ضلع جنوبی خانه قرار دارد، در تابستان در سایه قرار دارد و نیز به واسطه‌ی بادگیر از تهویه طبیعی برخوردار می‌شود. فضای زمستان‌نشین نیز درقسمت شمالی بنا قرار داشته و در زمستان از انرژی و گرمای خورشید بهره لازم را می‌برد.

شکل ۱: پلان طبقه همکف خانه بروجردی‌ها (جهت‌گیری شمالی– جنوبی و در جهت قبله)



(Ghobadian, 2011, pp. 130)

شکل ۲: پرسپکتیو خانه بروجردی‌ها (حیاط و شکل‌گیری توده‌ها در اطراف آن)



[۸](www.atlasy.ir)

۴-۳- درونگرایی و برونگرایی

این روش در ایجاد آرامش و حفظ حرائم بسیار مهم بوده است و با توجه به نوع اقلیم تعیین می‌شده است. به‌طور مثال حیاط مرکزی اصلی‌ترین فضا درخانه‌های کویری است به‌صورتی‌که «حیات گرد حیاط شکل می‌گیرد» (شکل ۲)، (Falamaki, 2006).

خانه بروجردی‌ها: حیاط مرکزی در این بنا، کانون مرکزی خانه محسوب می‌شود و فضایی اجتماعی با رویکرد محیطی به‌شمار می‌رود. حیاط مرکزی این خانه دارای فرمی کشیده است تا در طول روزهای تابستان سایه لازم را برای این فضا فراهم آورد و درعین حال عرض آن به‌گونه‌ای است که در زمستان‌های سرد قادر به دریافت تشعشعات خورشید می‌باشد (شکل ۱). این حیاط فضای خانه را به دو قسمت زمستان‌نشین و تابستان‌نشین تقسیم کرده است.

کف حیاط توسط کاشی‌های آجری مربع شکل به نام فرشی کفسازی شده که برای تمیزکردن آن از آب و جارو استفاده می‌کردند و این خود باعث خنکی فضای حیاط می‌شده است. اما آنچه که نقش عملکردی حیاط مرکزی را روشن می‌سازد آن است که، درجه حرارت هوا در فضای حیاط مرکزی به‌خصوص در صبح بسیار خنک‌تر از درجه حرارت هوا در بالای حیاط مرکزی و در اطراف ساختمان است؛ زیرا با آمدن شب، هوای گرم حیاط بالا رفته و به تدریج هوای خنک شب که در قسمت بالای حیاط وجود دارد، جایگزین می‌شود. این هوای خنک در لایه‌های بدنه‌های حیاط ذخیره شده و سپس در روز به فضاها و اتاق‌های اطراف حیاط منتقل می‌شود. در واقع جرم دیوارها و کف حیاط به عنوان یک مخزن ذخیره‌کننده سرما عمل می‌کند. در صبح، هوای حیاط مرکزی به آرامی گرم شده و سرما باقی می‌ماند تا هنگامی که تشعشعات خورشید به‌طور مستقیم به فضای حیاط بتابد. باد گرمی که در طول روز از بالای خانه عبور می‌کند به فضای داخل حیاط داده نمی‌شود و تنها کوران‌هایی را در فضای داخل حیاط ایجاد می‌کند (Ghobadian, 2011, pp. 129-150).

۴-۴- فرورفتن در دل خاک

بناهای فرو رفته در زیر خاک به علت خاصیت جذب تدریجی گرما و سرما، نوسان شدید روزانه و سالیانه را در خود مستهلک کرده و دما را به نحو قابل ملاحظه‌ای تعدیل می‌کنند. استفاده از ظرفیت حرارتی مصالح در بناهای بومی ایران بسته به نوع اقلیم با دو شیوه متفاوت اعمال می‌شود.

۱. در مناطق کویری: حفظ خنکی هوای اتاق در تابستان و حفظ گرمای آن در زمستان اصل بسیار مهمی است. در این شرایط استفاده از دیوارهای خشتی ضخیم به‌دلیل خاصیت انباشت گرما درخود و هدایت تدریجی آن همچون خازنی برای حفظ گرما یا خنکی داخل اتاق عمل کرده و وجود حداقل بازشوها این خاصیت را خنثی نمی‌کند.

۲. در مناطق گرم‌ومرطوب: در این نواحی استفاده از مصالح با ظرفیت حرارتی کم، امکان تنفس بنا را فراهم می‌سازد.

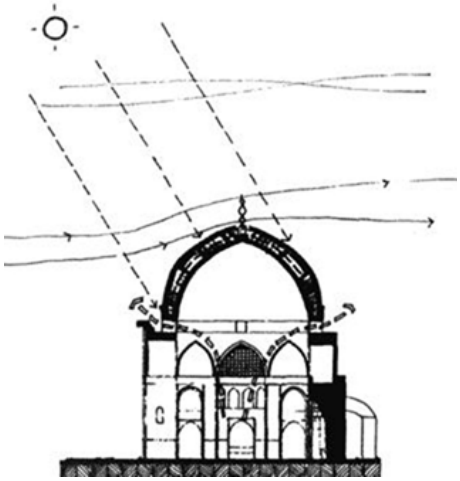
خانه بروجردی‌ها: از بادگیر برای سرمایش و تهویه فضاهای داخلی بنا استفاده می‌شود. بادگیر به‌کار رفته، هم به صورت مکشی برای خارج ساختن هوای آلوده و گرم به بیرون ساختمان و هم به‌صورت کششی برای کشاندن هوای خنک به درون ساختمان استفاده می‌شود.

۴-۵- فرم سقف‌ها

انتخاب فرم شیبدار برای نواحی با باران‌های زیاد به‌جهت دفع آب باران از روی سقف بوده و در نواحی کویری از فرم‌های گنبدی شکل به‌خصوص در مساجد و آب‌انبارها استفاده می‌شده است که علاوه بر مزایای سازه‌ای موجب می‌شود که تشعشعات خورشید در جهات مختلف و در ساعات متفاوت از روز توسط سطح منحنی‌اش تعدیل شود و در شب نیز موجب انتشار و خروج امواج و تشعشعات خورشید شده و به سرمایش شبانه کمک می‌کند (شکل ۳)، (Ghobadian, 2011, pp. 128-129).

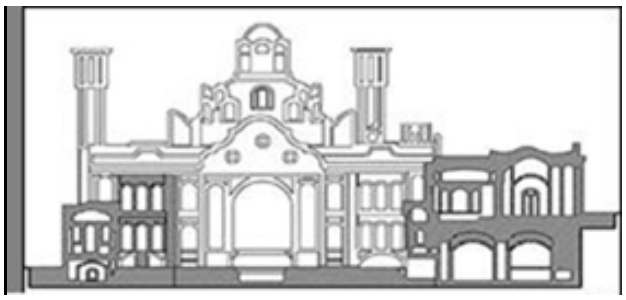
خانه بروجردی‌ها: فرم سقف این خانه مسطح بوده و دارای یک دیوار جان‌پناه کوچک با ارتفاعی کمی بلندتر از سطح دید می‌باشد که دورتادور لبه بام را می‌پوشاند. این جان‌پناه علاوه بر ایجاد حریم خصوصی و امنیت برای خوابیدن و نشستن در هنگام شب، از بدنه‌های ساختمان درمقابل تابش مستقیم آفتاب در طول روز محافظت می‌کند. در قسمتی از بنا از پوشش نیم‌کره‌ای برای سقف استفاده شده است. این پوشش دارای سطحی محدب و غیریکنواخت است که تشعشعات خورشید در جهات مختلف و در ساعات متفاوت از روز را توسط منحنی‌اش تعدیل می‌سازد و در نتیجه دمای سقف را کاهش می‌دهد (شکل ۴)، (Ghobadian, 2011, p. 129). زاویه برخورد اشعه‌های خورشید به سقف‌های نیم‌کره‌ای و طاقی شکل از نقطه‌ای به نقطه‌ی دیگر متفاوت است و بخشی از آن در صبح و عصر در سایه باقی می‌ماند. از طرفی استفاده از فرم منحنی در سقف، موجبات سرمایش شبانه را به‌وسیله خروج و انتشار امواج و تشعشعات خورشیدی فراهم می‌آورد. زیرا سقف ساختمان‌ها بیشترین سطح در معرض تابش آفتاب را دارند و بیشترین انرژی از طریق این سطوح آزاد می‌شود (Ghobadian, 2011, p. 141).

شکل ۳: گنبد و نمایش ویژگی‌های اقلیمی آن



(Ghobadian, 2011, p. 141)

شکل ۴: برش عرضی خانه بروجردی‌ها (سقف گنبدی مجموعه)



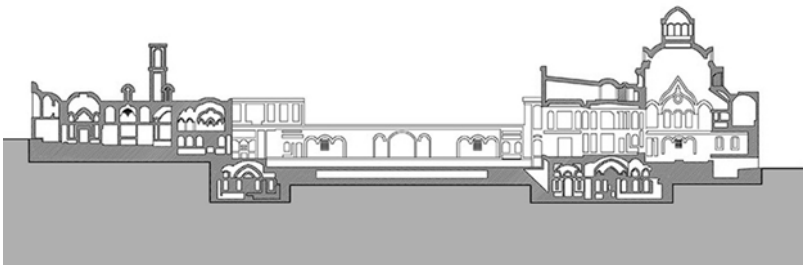
(Ghobadian, 2011, pp. 129)

۶-۴- دیوارها

دیوارها از نظر مصالح و ضخامت متناسب با اقلیم طراحی شده‌اند. در اقلیم گرم و خشک دیوارها بسیار ضخیم می‌باشند به‌طوری‌که زمان تأخیر را بالا می‌برد، نوسان دمایی شب و روز کاهش می‌یابد، دیوارهای حجیم در شب گرما را از طریق انتقال و تشعشع از دست می‌دهند و در طول روز دمای آن‌ها در حد متوسط یا پایین باقی می‌ماند. این دیوارهای ضخیم بیشترین آسایش را توسط تشعشعات جذب شده از انسان در طول روز تأمین خواهند کرد و در هنگام شب از طریق تشعشع یا انتقال گرما، سرمای لازم را برای آن‌ها ایجاد می‌کنند (Kasmaei, 2008, pp. 60-62, 114-116).

خانه بروجردی‌ها: دیوارهای به‌کار گرفته شده در خانه بروجردی‌ها حجیم می‌باشند. این دیوارها قادر خواهند بود گرما را تا چندین ساعت پس از گرم شدن بوسیله خورشید تشعشع دهند و هم این‌که گرما را به‌طور طبیعی در بخش داخلی خود نگه‌داشته و دچار کمترین نوسان دما شوند (شکل۵)، (Ghobadian, 2011, pp. 130-131).

شکل ۵: برش طولی خانه بروجردی‌ها (فرو رفتگی در داخل زمین که در قسمت زمستان‌نشین نیز بیشتر است).



(Ghobadian, 2011, pp. 131)

شکل ۶: بازشوهای متعدد در سمت داخلی مجموعه رو به حیاط، همچنین طراحی جداره‌ها به رنگ روشن

(www.atlasy.ir)

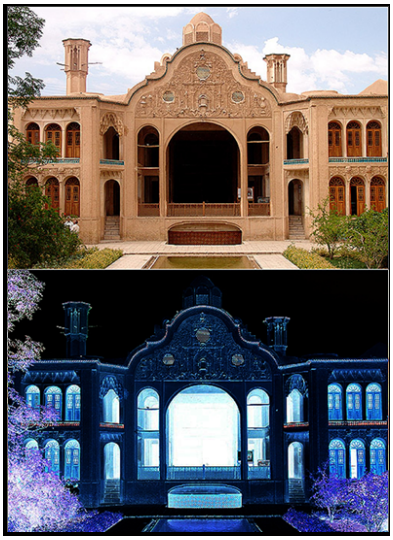
۴-۷- بازشوها

در مناطق مرکزی ایران، بازشوها مساحت کمتری از سطوح نما را اشغال می‌کرده‌اند و در جبهه‌های خاصی از بنا تمرکز بیشتری داشته‌اند. این وضعیت در اقلیم‌های دیگر قدری متفاوت است.
خانه بروجردی‌ها: دیوارهای خارجی این بنا فاقد پنجره‌های متعدد است که یکی از عوامل آن محافظت خانواده در در فرهنگ اسلام می‌باشد. در دیوارهای داخلی رو به حیاط پنجره‌های متعددی دیده می‌شود (شکل ۶) که تهویه عبوری توسط همین پنجره‌ها انجام می‌شود. این پنجره‌ها کوچک و در قسمت فوقانی دیوارها قرار دارند (Ghobadian, 2011, pp. 129-150).

۴-۸- کنترل نور و سایه

میزان بازشوها و اندازه آن‌ها متأثر از دو عامل فرهنگ و اقلیم بوده است. در مناطق کویری بازشوها کوچک و در زیر سقف بوده و بیشتر در شمال و شرق بنا تمرکز داشته‌اند و در مناطق سرد بازشوهای بزرگ که بیشتر در قسمت جنوب برای بهره‌گیری از نور خورشید قرار داشته‌اند.
این مورد با معکوس کردن تصاویر جداره‌های هر بخش از فضا ملموس‌تر و محسوس‌تر می‌شود. در این‌گونه تصاویر فضاهای روشن، نشان‌دهنده محل‌های کنترل نور توسط معمار است که شدت روشنایی یا تاریکی آن نیز بسته به اهمیت فضا تغییر می‌کند (شکل ۷).

شکل ۷: تأکید بر نقاط کنترل نور توسط معمار ایرانی در بخش‌های مختلف فضا

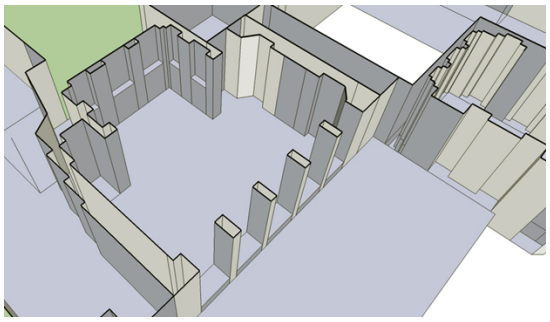


(Ghobadian, 2011, pp. 133)

۹-۴- رنگ

یک عامل بسیار مهم و کنترل‌کننده، رنگ است. اختلاف دما در یک بنا با سقف سفید رنگ، با بنایی با سقف سیاه رنگ ۴۰ کیلو می‌باشد و در مناطق گرم بناهای سنتی دارای رنگ‌های روشن و در نواحی سرد دارای رنگ‌های تیره هستند.
خانه بروجردی‌ها: استفاده از رنگ روشن در سطوح خارجی درخانه بروجردی‌ها در کاهش درجه حرارت روزانه بنا (که ناشی از تشعشعات منعکس شده از خورشید می‌باشد)، بسیار تأثیرگذار است و باعث افزایش پایداری و ظرفیت گرمایی و در نهایت تأمین آسایش در شب می‌شود (شکل ۶). با توجه به شکل ۸ بخشی از مدل‌سازی پنج‌دری خانه بروجردی‌ها توسط نرم‌افزار شبیه‌سازی شده است (Ghobadian, 2011, pp. 129-150).

شکل ۸: شبیه‌سازی فضای پنج‌دری خانه بروجردی‌ها با نرم‌افزار Google Sketchup [۱۳]

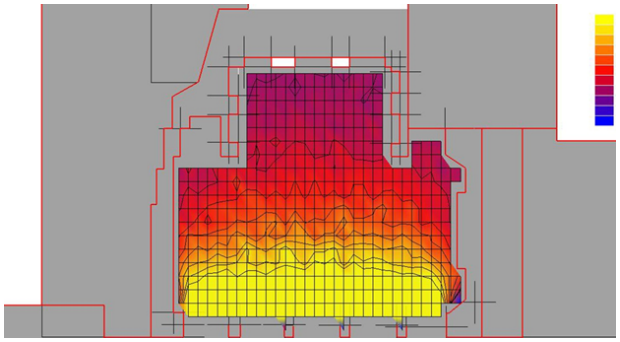


۵. تحلیل

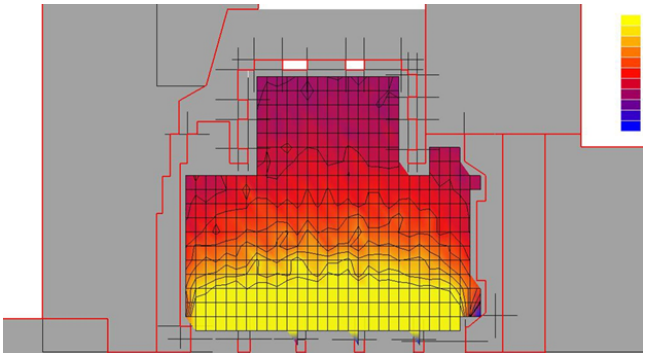
۱-۵- اعتدال بهاری (ماه مارس)

همانطور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، در اعتدال بهاری (۲۱ مارس)، در یک اتاق پنج دری، معمار سنتی با طراحی متناسب ابعاد فضایی و همچنین میزان بازشوهای متناسب با عملکرد، به کیفیت فضایی نوری و تعادل نسبتاً زیاد دست یافته است.

شکل ۹: بررسی میزان نور وارد شده به فضا در اعتدال بهاری (۲۱ مارس)



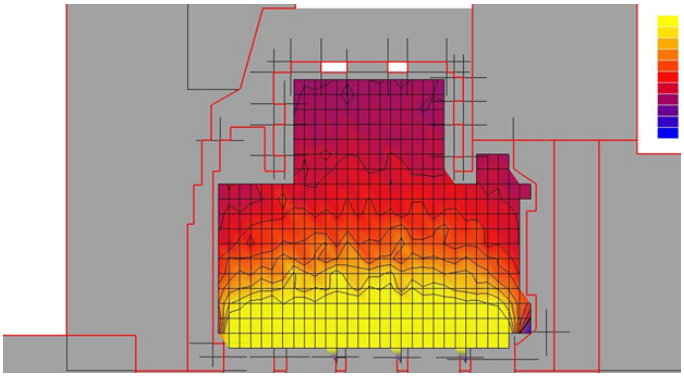
شکل ۱۰: بررسی میزان نور وارد شده به فضا در انقلاب زمستانی (۲۱ دسامبر)



۲-۵- انقلاب زمستانی (ماه دسامبر)

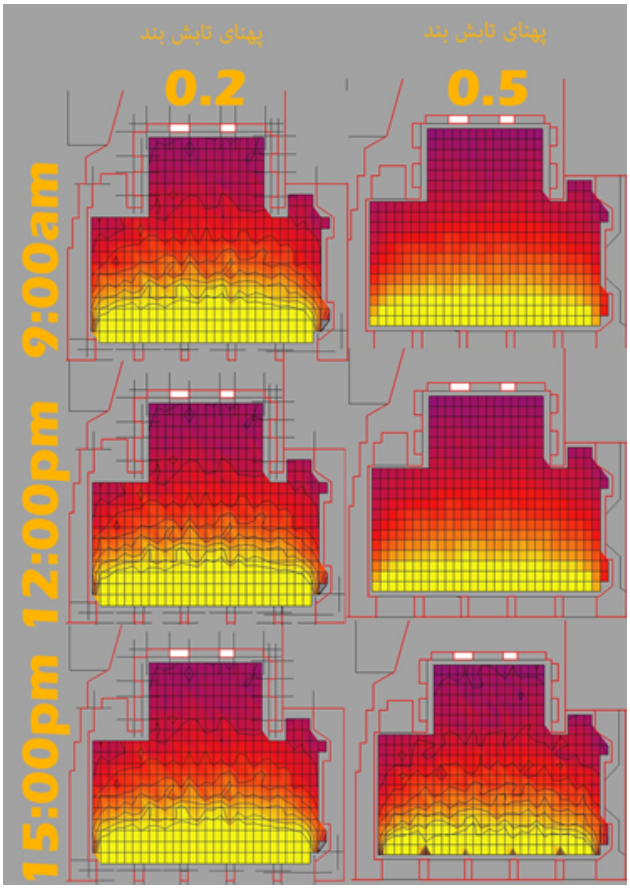
این مسأله در ۲۱ دسامبر (انقلاب زمستانی) نیز قابل مشاهده است و این راهکار به کیفیت فضایی نوری و تعادل نسبتاً زیاد دست یافته است (شکل ۱۰).

شکل ۱۱: بررسی میزان نور وارد شده به فضا در انقلاب تابستانی (۲۱ جون)



همان‌طور که در شکل‌های ۹ تا ۱۱ مشاهده می‌شود، کیفیت فضایی حاصل از نور روز در سه مقطع زمانی مهم یعنی اعتدال بهاری، انقلاب زمستانی و تابستانی بسیار مشابه یکدیگر می‌باشد. برای تحلیل دقیق‌تر موضوع، این موارد در ساعت‌های مختلف روز در همین فصول مورد بررسی قرار گرفت که در نمودارهای تحلیل زیر قابل مشاهده است. (لازم به ذکر است که در تحلیل‌ها دو صورت برای عمق جداره‌ها در نظر گرفته شده است، یکی به عمق ۰/۲ و دیگری ۰/۵، (شکل ۱۲، شکل سمت راست: بررسی میزان نور وارد شده به فضا در اعتدال بهاری، شکل وسط: بررسی میزان نور وارد شده به فضا در انقلاب زمستانی و شکل سمت چپ: بررسی میزان نور وارد شده به فضا در انقلاب تابستانی).

شکل ۱۲: بررسی میزان نور وارد شده به فضا در اعتدال بهاری (شکل سمت راست)، انقلاب زمستانی (شکل وسط) و انقلاب تابستانی (شکل سمت چپ)



نتیجه‌گیری

با توجه به تحلیل‌های استخراجی از نرم افزار Ecotect[۶] و بررسی نور روز در خانه بروجردی‌ها و قیاس نتایج استخراجی از نرم‌افزار می‌توان نتایج زیر را از تحلیل‌های پیش رو استخراج کرد:
اختلاف کیفیت نور دریافتی در انقلابین در فضاهای سه‌دری و پنج‌دری با وجود نهایت اختلاف وضعیت خورشید در این دو روز حداقل میزان ممکن است که این خود دلیلی بر بهینه بودن طراحی اقلیمی معماری خانه بروجردی‌ها و معماری مسکونی بومی کاشان در دوره قاجار است.
بالا بودن عمر استفاده از فضا و تداوم کیفیت مطلوب فضا در طول روز باعث بالاتر رفتن بهره‌وری فضا در طول روز خواهد شد. به این صورت که مدت زمان قابل توجهی در طول روز یک کیفیت غالب بر تمام فضاهای سه‌دری و پنج‌دری حاکم است که منتج از نورگیری مناسب فضاهای نشیمن است.
در جبهه شمالی خانه بروجردی‌ها و تحلیل‌های استخراجی از نرم‌افزار "Ecotect" و قیاس نتایج استخراجی از نرم‌افزار برای مدل فرضی از همین نرم‌افزار با ضخامت دیوارها و تابش‌بندهای بیست سانتی‌متری می‌توان برداشت کرد که در روزهای اعتدالین میزان نفوذ نور به فضای پنج‌دری خانه بروجردی‌ها در سه ساعت ۹ صبح، ۱۲ ظهر و ۱۵ بعدازظهر تقریباً یکسان است و می‌توان با توجه به تحلیل‌های انجام شده در Ecotect analysis این گونه گفت که در روزهای اعتدالین میزان نور دریافتی در بین ساعاتی که تحلیل انجام شده است، تقریباً یکسان است که این منجر به ایجاد محیطی با کیفیت فضایی پایدار و طول عمر فضایی بیشتر در این روزها می‌شود. اما در مدل فرضی این پژوهش که با ضخامت دیوارهای بیست سانتی‌متر انجام شد، حاصل تحلیل‌ها نشان می‌دهند که میزان نورگیری فضا در روزهای اعتدالین به این صورت است که در ساعات ۹ صبح و ۱۵ بعد از ظهر عمق بیشتری از فضا نورگیری انجام می‌شود و در ساعت ۱۲ ظهر میزان این نورگیری به حداقل خود می‌رسد که حاصل آن عدم وجود کیفیت ثابت فضایی و کوتاهی عمر فضا است.
همچنین در این بررسی در روز انقلاب تابستانی می‌توان شاهد این بود که به‌موجب زاویه تابش خورشید در تابستان‌ها و نظر به پهنای زیاد تابش بندها، نور دریافتی در ساعات ۹ صبح، ۱۲ ظهر و ۱۵ بعدازظهر تا حدود زیادی یکسان و یکنواخت است و موجب ایجاد کیفیتی یکسان در طول روز با حداقل نوسان در نورگیری برای کاربر می‌شود این در حالی است که در مدل فرضی با تابش بندهای بیست سانتی‌متری برای روز، انقلاب تابستانی به‌واسطه عمق کم پنجره‌ها، عمق نفوذ نور به فضا در طول روز یکسان نیست و به توجه به زاویه تابش خورشید نوسان می‌کند که می‌توان این نوسان را به‌گونه‌ای تأثیرگذار بر کیفیت فضایی دانست و در واقع این نوسان رابطه‌ای مستقیم با کیفیت فضایی در این فضا دارد. اما در روز انقلاب زمستانی تحلیل‌های نور روز در فضای اتاق پنج‌دری خانه بروجردی‌ها در ساعت ۹ صبح حداکثر نورگیری صورت می‌گیرد که این خود در ایجاد یک فضای اقلیمی با آسایش حرارتی مناسب کارگشا است و با توجه به اینکه این اتاق در زمستان‌ها مورد استفاده کاربران قرار می‌گرفته، پس در صبح‌های زمستانی به حداکثر میزان نورگیری برای گرم شدن نیازمند بوده است که از این طریق تأمین شده است.
از تحلیل‌های نرم‌افزار Ecotect analysis می‌توان دریافت که در طراحی، اتاق پنج‌دری خانه بروجردی‌ها با استفاده از ضخامت دیوارها توانسته است در طول روز در یک سال حداقل کیفیت نورگیری را برای یک فضا با حداقل میزان تغییر به خوبی تأمین کنند که این مهم باعث حرکت به سمت یک کیفیت فضایی ثابت در طول روزهای سال برای یک فضا خواهد شد. از منظر دیگر تداوم کیفیت نورگیری از طریق نور خورشید را می‌توان نزدیکی معمار سنتی به مفهوم پایداری نیز تفسیر کرد؛ چرا که بدون ضربه زدن به منابع تجدیدناپذیر و با استفاده از منابع پاک و پایدار طبیعی، نور لازم برای مدت زمان طولانی و قابل توجهی از روز، بدون نوسان در کیفیت آن تأمین می‌کرده است.
نکته مهم دیگر که از تحلیل نور روز در اتاق پنج‌دری خانه بروجردی‌ها می‌توان مورد توجه قرار داد این است که در روز انقلاب زمستانی، معمار علاوه بر تأمین یک میزان نور ثابت برای روشنایی مناسب فضا در ساعت ۹ صبح، این میزان به‌طرز قابل ملاحظه‌ای بیشتر است که این اتفاق با میزان نیاز به دریافت انرژی بیشتر پس از یک شب زمستانی کاملاً منطبق است و فضایی که در تمام طول شب انرژی از دست می‌داده است، پس از طلوع خورشید با بیشترین میزان ممکن نورگیری شروع به دریافت انرژی می‌کند که این به بالا بردن آسایش حرارتی و افزودن به کیفیت فضای زیست کمک شایانی می‌کند.
در خانه بروجردی‌ها، معمار با توجه خاص به مسائل اقلیمی تلاشی موفقیت‌آمیز را نسبت به تأمین آسایش حرارتی و نورگیری مطلوب فضای پنج‌دری صورت داده است که تا حدود زیادی با مبانی معماری پایدار مطابق است. تأمین روشنایی لازم برای تمام طول روز با استفاده از نور خورشید و تأمین انرژی مورد نیاز به صورت حداکثری در روزهای سرد سال باعث تعریف و پاسخگویی فضا به نیازها در دو سطح شده است. به‌گونه‌ای که نور مورد نیاز از یک حداقل کمتر نخواهد شد و از دیگر سو با توجه به نیازهای بخشی از بنا که با کاربری خاص تعریف می‌شود به نیازهای دیگر آن که تأمین انرژی در فصل سرد است، پاسخ داده می‌شود. از دیگر سو طراحی این فضا به‌گونه‌ای است که به تداوم حس و کیفیت فضایی کمک و عمر استفاده از فضا را بیشتر می‌کند و کاربر می‌تواند زمان بیشتری را در فضا با مقدار قابل قبولی از تغییر نور استفاده

کند. از این‌رو می‌توان اتاق پنج‌دری خانه بروجردی‌ها را یک فضای مطلوب از نظر میزان نورگیری و دریافت انرژی و معمار آن را از نظر اقلیمی نمونه‌ای موفق و قابل قبول دانست.

پی‌نوشت

۱. دکتر رین هارت، (Christoph Reinhart) یکی از محققین حوزه معماری و آسایش انسانی، به‌عنوان پژوهشگر برتر و دانشیار دانشگاه ام آی تی مشغول به فعالیت است. آخرین نتایج تحقیقات ایشان با همکاری جمعی از دانشجویان دانشگاه ام آی تی، منجربه تولید نرم‌افزار تحلیل انرژی «دیوا فور راینو» شد.
آلستان جاکوبیک، (Alstan Jakubiec) سرگروه تیم نگارش نرم‌افزار « دیوا فور راینو»، پژوهشگر دانشگاه ام آی تی.
پورتال اساتید دانشگاه ام آی تی http://mit.edu/tito/www/Publications.html
۲. نرم‌افزار Ecotect Analysis ویرایش سال ۲۰۱۱ محصول شرکت Autodesk برای شبیه‌سازی و مدل‌سازی کامپیوتری مصرف و دریافت انرژی، نوع و جهت حرکت سایه‌ها و غیره در طراحی اقلیمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نرم‌افزار در سال ۲۰۱۱ به بازار عرضه شده است.
۳. نرم‌افزار google sketchup[۱۶] ویرایش ۸ محصول شرکت google که برای شبیه‌سازی‌ها و مدل‌سازی‌های کامپیوتری و ساخت انیمیشن در سال ۲۰۱۲ وارد بازار شد.
۴. جهت اطلاعات بیشتر رجوع شود به The Shorter Oxford English Dictianary, ۱۹۹۶.
۵. جهت اطلاعات بیشتر رجوع شود به لغت‌نامه دهخدا، ۱۳۷۲.
۶. جهت اطلاعات بیشتر رجوع شود به فرهنگ بزرگ سخن، ۱۳۸۱.
۷. جهت اطلاعات بیشتر رجوع شود به فرهنگ فارسی معین، ۱۳۸۰.
۸. جهت اطلاعات بیشتر رجوع شود به سایت www.atlasy.ir.

References

- Ansari, M. Akhvat, H. & Taghvaei, A. (2011). An Investigation of the Historical Process of Arithmetic Arrangement Systems with Emphasis on Applied and Aesthetic Considerations. Monthly Art Book Mont. *Time*, (151), 46-57.
- Ayali, H. (2009). Form Effect on Sustainable Architecture. *The First Sustainable Architecture Conference*.
- Bemanian, M. (2002). Introduction to the Role and Application of Peyman in Iranian Architecture. *Lecturer in Art Journal*. Time, 1(1), 1-10.
- Falamaki, M. (2006). *The Formation of Architecture in the Experiences of Iran and the West*. Tehran: Space (affiliated to the Space Science and Culture Institute) Publications.
- Ghobadian, V. (2011) .*Climate Study of Traditional Iranian Buildings*. Tehran: Tehran University Publications.
- Kasmaei, M. (2002). *Climatic and Architectural*. (M. AhmadiNejad, Ed.). Esfahan: Khak Publications.
- Mahvash, M. (2014). *The Qualitative Presence of Light in Ancient Architecture of Iran (Being as a Feature)*. Tehran: Office of Cultural Studies Publications.
- Pirnia, M. (2011). *Iranian Architectural Stylistics*. (G. Memarian, Ed.). Tehran: Sorosh danesh Publications.
- Sherif, A. H., Sabry, H. M. & Gadelhak, M. I. (2012). The Impact of Changing Solar Screen Rotation Angle and Its Opening Aspect Ratios on Daylight Availability in Residential Desert Buildings. *Solar Energy*, 86(11), 3353-3363.
- Watson, D. & Lebes, K. (2008). *Climatic Design*. (Ghobadian, V. & Mahdavi, M., Trans.). Tehran: Tehran University.